

MEĐIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU

ODRŽIVI RAZVOJ



PAMELA CIGLAR

**TEHNIKE SPAJANJA CIJEVI ZA TRANSPORT
PLINA I VODE IZRAĐENIH OD POLIMERNIH
MATERIJALA**

ZAVRŠNI RAD

ČAKOVEC, 2016.

MEĐIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU

ODRŽIVI RAZVOJ

PAMELA CIGLAR

**TEHNIKE SPAJANJA CIJEVI ZA TRANSPORT
PLINA I VODE IZRAĐENIH OD POLIMERNIH
MATERIJALA**

**JOINING TECHNIQUES OF PIPES FOR GAS AND WATER
TRANSPORT MADE OF POLIMER MATERIALS**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

prof. dr. sc. Ivan Samardžić

ČAKOVEC, 2016.

ZAHVALA

Iskreno zahvaljujem mentoru profesoru Ivanu Samardžiću na pomoći, strpljenju i stručnim savjetima, čime mi je pomogao pri izradi završnog rada.

Hvala mojim roditeljima koji su mi pružali podršku prilikom studiranja.

Zahvaljujem i svim profesoricama i profesorima s kojima sam se susrela tijekom svog studiranja.

SAŽETAK

Polimeri su svuda oko nas i u nama samima. Oni “vidljivi” oko nas uglavnom su umjetni, modificirani prirodni polimeri i sintetizirani polimeri. Od njih su izrađeni mnogi odjevni predmeti koje nosimo na sebi, zubne četkice, kućišta naših mobitelja i računala, dijelovi automobila ili pak obične svakodnevne vrećice [1].

Od onih drugih “nevidljivih” sazdano je naše tijelo, kao uostalom i tijela svih živih bića. To su prirodni organski polimeri – biopolimeri, sastavljeni od prirodnih bjelančevina, polisaharida i nukleinskih kiselina [1].

Polimerni su materijali već više od sto godina nezaobilazni u gotovo svakom segmentu praktične primjene materijala. Proizvodi od plastike i gume danas znatno pridonose kvaliteti našeg života te očuvanju prirodnih resursa i klime, stoga su plastičarska i gumarska industrija važne industrijske grane. Razvijaju se novi postupci preradbe polimera, te se poboljšavaju postojeći preradbeni postupci u svrhu poboljšavanja kvalitete proizvoda, smanjenja potrošnje prirodnih izvora sirovina te očuvanja prirode i okoliša [3].

Ekonomski zahtjevi, zakoni o zaštiti okoliša, niski troškovi proizvodnje, skraćenje vremena od dizajna proizvoda pa do njegovog izlaska na tržište, zahtjevi su koji tjeraju proizvođače da proizvode kvalitetnije, jeftinije i brže. Zbog tih sve većih zahtjeva proizvođači nastoje koristiti materijale, proizvodne postupke i opremu koja je u skladu sa zadanim zahtjevima te koja će skratiti proizvodni ciklus, proizvoditi kvalitetnije proizvode, imati manji utrošak energije, manje zagađivati okoliš, a sve će to rezultirati smanjenjem cijene samog proizvoda [3].

U ovom radu je dan prikaz o osnovama polimernih materijala, te njihovim vrstama, navesti će se fizikalne karakteristike i specifičnosti polimernih materijala u odnosu na ostale tehničke materijale. Navesti će se i opisati važne tehnike spajanja PE cijevi koje se danas u praksi ističu, a to su lijepljenje te zavarivanje grijaćom pločom i elektrofuzijskim zavarivanjem.

Ključne riječi: *polimeri, polimerizacija, plastomeri, zavarivanje, lijepljenje*

SADRŽAJ

Sažetak	
1.UVOD	6
2.POLIMERI	7
2.1.Podjela polimera	7
2.1.1. Plastomeri	8
2.1.2. Duromeri	8
2.1.3. Elastomeri	9
2.1.4.Elastoplastomeri	9
3.FIZIČKA STANJA POLIMERA	10
4.SPECIFIČNOSTI POLIMERA U ODNOSU NA OSTALE TEHNIČKE MATERIJALE	12
5. PE-HD CIJEVI ZA TRANSPORT PLINA I VODE	14
5.1.PE – HD cijevi	14
6.TEHNIKE SPAJANJA POLIMERNIH MATERIJALA	16
7.LIJEPLJENJE	17
7.1.Svojstva ljepila	17
7.1.1.Adhezija	18
7.1.2.Površinska napetost	19
7.1.3.Močenje površine	20
7.1.4.Kohezija	21
8. ZAVARIVANJE POLIMERNIH MATERIJALA	22
8.1.Zavarivanje u struji vrućeg zraka	24
8.1.1. Zavarivanje vrućim zrakom s dodatnim materijalom	26
8.1.2. Zavarivanje vrućim zrakom bez dodatnog materijala	28
8.2.Zavarivanje zagrijanim elementom (kontaktno zavarivanje)	30
8.2.1. Princip zavarivanja	30

8.2.2.Zavarivanje postupkom grijaće ploče.....	32
8.3. Zavarivanje strujama visoke frekvencije	34
8.3.1.Princip zavarivanja	34
8.4. Zavarivanje trenjem	36
8.5.Zavarivanje ultrazvukom	38
8.6.Elektrofuzijsko zavarivanje.....	40
8.7.Polifuzijsko zavarivanje	44
9. ZAKLJUČAK.....	45
10. LITERATURA	46
11.PRILOZI.....	47
11.1.Popis slika	47

1. UVOD

Polimerni kompoziti su materijali koji nastaju spajanjem dvaju ili više materijala različitih svojstava čineći novi materijal bitno različitih svojstava. Polimerni kompoziti sastoje se od polimerne matrica (smole) te materijalnog ojačala (vlakna). Primjena polimernih kompozita pojavljuje se u industriji prije više od pedeset godina. Prva primjena zabilježena je u vojnoj industriji i brodogradnji te se širi na civilnu avioindustriju, automobilsku industriju i medicinu [7].

Postoji više od petnaest posebnih i prepoznatljivih postupaka zavarivanja plastomera, od kojih su neke komercijalno dostupne već mnogo godina.

One uključuju ručne postupke, poput zavarivanja toplim zrakom ili plinom, ekstruzijskog zavarivanja, zatim, postupke koji koriste vibriranje i zagrijavanje uzrokovano trenjem materijala, poput ultrazvučnog ili vibracijskog zavarivanja, te postupaka u kojima se rabi elektromagnetski izvor topline, poput elektrofuzijskog i dielektričnog zavarivanja [4].

Sposobnost spajanja istovrsnih i različitih materijala, materijala različitih debljina te velikih površina svojstvo je zahvaljujući kojem je upotreba ljepila toliko raširena. Zbog toga sve veći broj proizvoda se izrađuje od polimernih materijala zamjenjujući tako puno teže i skuplje materijale.

2. POLIMERI

Polimeri su prirodne i sintetičke, organske i anorganske tvari i materijali kojih su osnovni sastojak makromolekule pa se stoga nazivaju i makromolekularni spojevi. Riječ polimer potječe iz grčkog jezika od riječi poly (mnoštvo, puno) i meros (dio) i obilježava makromolekulu koja se sastoji od velikog broja strukturnih jedinica, tzv. mera koji se u makromolekuli ponavljaju. Visokomolekularni spojevi, polimeri, nastaju tijekom kemijske reakcije polimerizacije od malih molekula (monomera). Ti se spojevi sastoje od linearnih, granatih ili umreženih makromolekula u kojima su međusobno povezane strukturne jedinice – meri [2].

Sustav makromolekula koji nastaje kao rezultat polimerizacije naziva se polimerizat i kao samostalan sve je rjeđe upotrebljiv kao tehnički materijal. Polimerizat je u najvećem broju slučajeva tek osnovni sastojak polimernog materijala te mu se dodaju raznovrsne niskomolekularne tvari i dodaci (ojačala, punila, omekšavala) [2].

2.1.Podjela polimera

Opće je prihvaćena podjela polimera koja se zasniva na njihovu ponašanju pri povišenim temperaturama [2]. Razlikuju se:

- a) *plastomeri*
- b) *duromeri*
- c) *elastomeri*

Posebnu podskupinu čine elastoplastomeri koji pri sobnoj temperaturi posjeduju čitav niz svojstava tipičnih za skupinu elastomera, a prerađuju se postupcima tipičnim za skupinu plastomera [2].

2.1.1. Plastomeri

Plastomerni materijali, odnosno plastomeri (termoplasti) su polimeri linearnih i granatih makromolekula koje su međusobno povezane isključivo sekundarnim vezama. Taljivi su i topljivi. Zagrijavanjem plastomera dolazi do popuštanja sekundarnih veza te se makromolekule slobodno gibaju i polimeri postupno prelaze u taljevinu. Odvođenjem topline dolazi do suprotnog procesa, sekundarne veze se ponovno uspostavljaju i polimer prelazi u čvrsto stanje. Obzirom na karakter sekundarnih veza se ciklus omekšavanja i očvršćivanja može stalno ponavljati. Stoga je plastomere moguće materijalno i to mehanički oporabiti, dakle reciklirati [3].

Plastomeri su prema potrošnji najproširenija skupina polimernih materijala, a po stupnju uređenosti strukture mogu biti amorfni i kristalasti [3].

Amorfni plastomeri su uglavnom prozirni, krhki i slabije kemijske postojanosti.

Kristalasti plastomeri osim kristalne sadrže i amorfnu strukturu. Odatle im naziv koji označuje da su materijali nalik kristalnim, a udio kristalne faze izražava se stupnjem kristalnosti, koji izravno utječe na prerađena i uporabna svojstva. Gotovo 70 % ukupne proizvodnje plastomera čine tzv. široko primjenjivi plastomeri, a to su polietileni, polipropilen, poli(vinil-klorid), polistiren i u novije vrijeme poli(etilen-tereftalat) [3].

2.1.2. Duromeri

Duromerni materijali, duromeri (duroplasti), gusto su prostorno umrežene strukture, netaljivi su, netopljivi i ne bubre. Zbog karaktera primarnih veza kojima su im makromolekule međusobno povezane, duromerne se tvorevine zagrijavanjem ne može niti omekšati niti rastaliti. Svojstvo mekšanja i taljenja duromeri imaju u fazi dobivanja (duromernipretpolimeri ili duromernetaljevine). U toj fazi mora ih se preoblikovati u potrebni oblik tvorevine kako bi se zatim omogućila potrebna reakcija polimeriziranja i umrežavanja [3].

Temeljna je razlika između duromera i plastomera njihovo ponašanje pri povišenim temperaturama. Duromeri prilikom procesa nastajanja, odnosno polimerizacije stvaraju, veliku vrlo umreženu prostornu molekulu. U slučaju pregrijavanja dolazi do njihove degradacije, razaranja postojeće strukture i gubitka početnih svojstava. Po ohlađivanju, za razliku od plastomera, oni se ne vraćaju u stanje vrlo slično prvobitnom, već novonastala struktura ima bitno drugačija svojstva od onih koja su postojala prije zagrijavanja [2].

2.1.3. Elastomeri

Elastomeri su materijali koje najvećim dijelom karakterizira njihova vrlo mala tvrdoća i velika elastičnost. Elastomerni materijali, elastomeri (gume), imaju djelomično umreženu strukturu, što znači da su im makromolekule međusobno povezane i sekundarnim (fizičkim, međumolekularnim) i primarnim vezama. Netaljivi su, netopljivi, ali bubre. Elastomeri se mogu najbolje definirati kao materijali sa sposobnošću vrlo veliki elastičnih deformacija [3].

Praksa je potvrdila da se takvo posebno mehaničko ponašanje temelji na gumastom stanju polimernih molekula (iznad staklišta, - 60 °C). Pri tom se molekule svojim slučajnim rasporedom opiru deformaciji. Nijedan drugi materijal ne pokazuje takvu elastičnost. Zbog toga se gumeni materijali nazivaju elastomeri [3].

Osim elastičnosti, gume posjeduju niz drugih svojstava. Tako su npr. neki gumeni materijali nepropusni za vodu i zrak, ili su postojani pri temperaturama višim od 200 °C. Također mogu biti postojani na agresivne medije, ili pak savitljivi pri -100 °C [3].

2.1.4. Elastoplastomeri

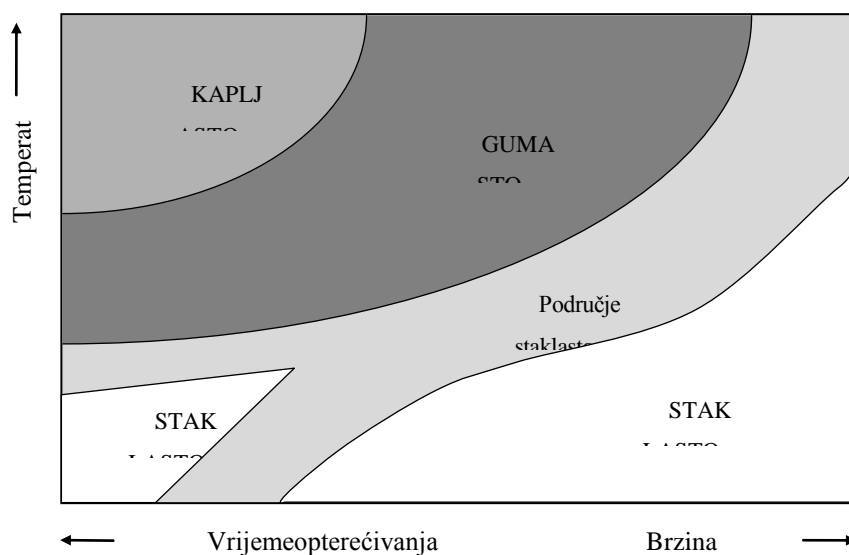
Elastoplastomeri taljivi su i topljivi materijali koji bubre. Na povišenim temperaturama teku poput plastomera, a na niskim temperaturama se ponašaju poput elastomera.

To znači da su im uporabna svojstva slična svojstvima elastomera, a prerađuju se postupcima tipičnim za plastomere [3].

3.FIZIČKA STANJA POLIMERA

Deformacija polimernih materijala ne ovisi samo o naprezanju već i o temperaturi, vremenu u kojem se deformacija promatra i uvjetima opterećivanja (ponajviše brzini opterećivanja). Ovisno o uvjetima opterećivanja, postoje tri izrazito različite skupine fizičkih stanja u kojima se polimer može naći: [1]

- staklasto
- gumasto
- kapljasto



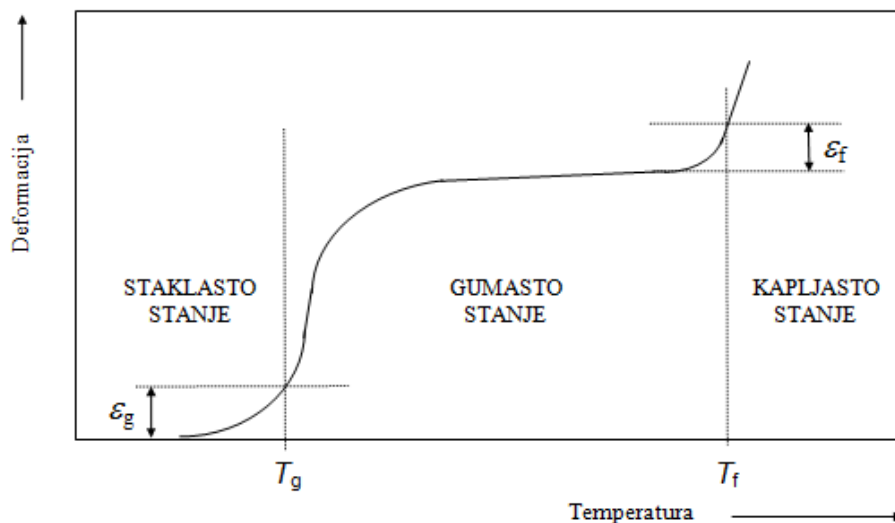
Slika 1. Fizička stanja amorfne polimerne materije predložena u dijagramu $T-t$

Izvor: P.Raos, M.Šercer: *Teorijske osnove proizvodnje polimernih materijala*,
Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, 2010.

Tri navedena stanja jesu skupine fizičkih stanja, koja su grupirana po kriteriju deformabilnosti, stoga se ta stanja još nazivaju i deformacijska ili relaksacijska stanja.

Polimeri prelaze iz jednog stanja u drugo dosizanjem temperature pri kojoj se bitno mijenja prosječna energija toplinskog gibanja segmenata makromolekule. Fizička (deformacijska) stanja polimera moguće je predložiti u dijagramu temperatura - vrijeme opterećivanja (tzv. dijagram $T-t$), koji je na primjeru amorfnih polimera prikazan na slici 1 [1].

Ovisnost deformacije, uzrokovane vanjskim opterećenjem, o temperaturi moguće je predložiti termomehničkom krivuljom na kojoj su vidljiva tri različita deformacijska stanja polimera (slika 2). Ta krivulja predstavlja zapravo izokroni presjek (presjek pri konstantnom vremenu) dijagrama $T-t$ [1].



Slika 2. Termomehnička krivulja linearnog amornog polimera

Izvor: P.Raos, M.Šercer: Teorijske osnove proizvodnje polimernih materijala, Strojarški fakultet u Slavonskom Brodu, 2010.

U staklastom stanju, elastična se deformacija ostvaruje promjenama valentnih veza i kuteva. Zbog toga je deformacija polimera u staklastom stanju mala po iznosu, nastaje i nestaje trenutačno i približno slijedi Hookeov zakon elastičnosti [1].

U gumastom stanju, energija toplinskog gibanja segmenata dovoljna je za savladavanje potencijalne barijere, pa makromolekula prelazi u konformaciju istegnutu u smjeru djelovanja vanjskog opterećenja. Najveća viskoelastična deformacija uz zadano naprezanje ostvaruje se pri onim temperaturama na kojima su svi segmenti uključeni u promjene konformacija. To je područje predloženo kao zaravan termomehničke krivulje u gumastom području [1].

U kapljustom području pokretljivost je segmenata toliko velika da se oni kooperativno gibaju u smjeru djelovanja vanjskog opterećenja.

U istom se smjeru premješta i centar masa makromolekula, što je nepovratljiva (ireverzibilna) deformacija – tečenje [1].

4.SPECIFIČNOSTI POLIMERA U ODNOSU NA OSTALE TEHNIČKE MATERIJALE

Polimeri su zbog svojih svojstava vrlo zanimljivi i kao alternativni materijali u sve više područja, iako prilikom njihove primjene treba biti svjestan i njihovih ograničenja i razlika u odnosu na klasične konstrukcijske metale – prvenstveno metale.

U osnovi, polimere oblikuju niska gustoća, vrlo dobra električna i toplinska izolacijska svojstva uz odgovarajuće dodatke i postojanost prema atmosferskim utjecajima, postojanost na djelovanje agresivnih medija i agenata, dobro podnošenje naglih temperaturnih promjena i lako oblikovanje [2].

Glavni je nedostatak polimernih materijala koji ograničava njihovu primjenjivost nedovoljna toplinska postojanost. Toplinska postojanost se najčešće formalno označava kao sposobnost zadržavanja željenog oblika pri povišenoj temperaturi i definirana je Martensovom temperaturom. Ona označava temperaturu pri kojoj se standardno ispitno tijelo izloženo savojnom opterećenju određenog intenziteta trajno deformira. Međutim, toplinska postojanost nije definirana samo kroz Martensovu temperaturu, već tu značajku treba povezati s konkretnom primjenom polimernog proizvoda, njegovom funkcijom i radnim uvjetima [2].

Drugi su vrlo važan nedostatak najvećeg broja konstrukcijskih polimernih materijala u usporedbi s metalima mehanička svojstva. Polimeru imaju nisku tvrdoću – u prosjeku ona se kreće 10...30 HB, pa je upitna njihova primjena za konstrukciju dijelova koji su izloženi povišenih površinskim pritiscima.

Od ostalih svojstava koja se mogu opisati kao nepoželjna može se navesti skloost nekih polimera upijanju tekućina i bubrenju prilikom kontakta s vodom, benzinom, mineralnim uljima i raznim otapalima. Neke vrste polimera puzanju i kad su izložene malim opterećenjima i to već pri sobnim temperaturama [2].

Dobra (ili bolja) svojstva u usporedbi s nemetalima:

- mala gustoća ($0,92 - 1,9 \text{ g / cm}^3$),
- dobra električna izolacijska svojstva,
- mala toplinska vodljivost,
- dobra postojanost prema koroziji, kiselinama, lužinama i djelomično otapalima
- ne djeluju fiziološki štetno, bez mirisa su i bez okusa,
- dobro se daju obrađivati skidanjem i bez skidanja strugotine,
- dobro se daju bojadisati u samoj masi, kao i površinski [4].

Nepovoljna svojstva u odnosu na metale:

- slabo su otporne na toplinu,
- imaju veliko istezanje na toplini,
- imaju čvrstoću u većini slučajeva,
- zapaljivost

Značajna prednost u odnosu na druge materijale je niža cijena koštanja [4].

5. PE-HD CIJEVI ZA TRANSPORT PLINA I VODE

Sve veća primjena polimernih materijala je u izgradnji cjevovoda. Za tu namjenu polimerni materijali u velikoj mjeri zamjenjuju čelik.

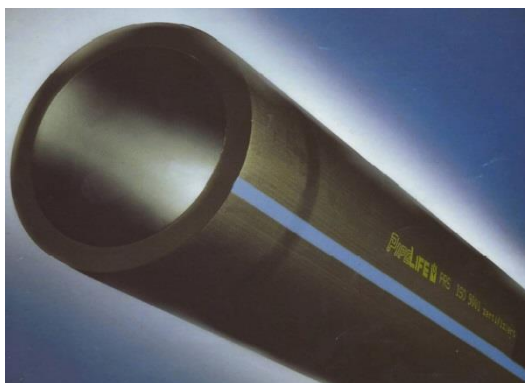
Najčešći primjenjivani postupci spajanja PE-HD cijevi:

- elektrofuzijsko spajanje uz primjenu elektrofuzijske spojnice (manji promjeri cijevi)
- spajanja «grijaćom pločom» (veći promjeri cijevi)

5.1. PE – HD cijevi

PE – HD cijevi izrađuju se u crnoj boji, sa četiri uzdužno koextrudirane linije čija boja ovisi o namjeni cijevi. Koriste se za:

- a) Transport tekućina (opskrba pitkom vodom, odvodnja oborinskih voda)
- b) Transport plina [5].



Slika 3. Prikaz PE-HD cijevi

Izvor: http://www.alpro-att.hr/tolteam/UserFiles/File/pehd_cijevi.pdf

Izrađene su od polietilena visoke kakvoće (PEHD), stoga ih odlikuju odlična fizička i kemijska svojstva. Njihovom rukovanju i polaganju pogoduje mala specifična težina, te vrlo visoka savitljivost i fleksibilnost. Imaju glatku stijenku, koja sprječava taloženje i razne druge naslage.

Apsolutno su vodonepropusne, otporne na kemikalije i kiseline te imaju veliku otpornost na udarce (visoka čvrstoća i žilavost) [5].

Cijevi za transport plina i vode uglavnom se proizvode od PE-HD, uz dodatak odgovarajućih punila i stabilizatora. Cijevi se proizvode taljenjem granula polietilena i istiskivanjem kroz glavu ekstrudera, kojom se oblikuje cijev.

PREDNOSTI PE-HD CIJEVI U ODNOSU NA ČELIČNE:

- manja masa, koja omogućava lakšu manipulaciju i montažu
- glatka površina cijevi – manji hidraulični gubici kod transporta medija
- visoka fleksibilnost i otpornost na udarce
- nema potrebe za antikorozivnom zaštitom i katodnom zaštitom
- jednostavan postupak spajanja, niža cijena montaže
- dugi vijek u eksploataciji, ekološki podoban materijal [6].

NEDOSTACI PE-HD CIJEVI U ODNOSU NA ČELIČNE:

- veća osjetljivost na temperaturne promjene
- manja otpornost na mehanička opterećenja i oštećenja
- velika osjetljivost na UV zrake [6].

Plinske cijevi su obično žute boje ili crne s uzdužnim žutim prugama. Cijevi za vodu su obično plave ili crne s uzdužnim plavim prugama [6].

6.TEHNIKE SPAJANJA POLIMERNIH MATERIJALA

Razvoj polimernih materijala te njihova inženjerska primjena potaknula je i razvoj tehnika spajanja istih. Zbog specifičnih svojstva polimernih materijala (mehanička, fizikalna, kemijska i dr.) danas se u praksi ističu dvije najzastupljenije tehnike spajanja ove grupe tehničkih materijala – lijepljenje i zavarivanje [12].

Obje navedene tehnike spajanja spadaju unerastavljive spojeve, a temelje se na adhezijskim i kohezijskim silama koje se javljaju u spojevima [12].

Lijepljenje je nerastavljiva tehnika spajanja, a iako ovaj postupak seže u daleku prošlost, ubraja se u suvremene postupke pošto se razvoj ljepila intenzivirao posljednjih 40-tak godina. Svoju primjenu nalazi zbog niza prednosti kao što su: mogućnost spajanja raznorodnih materijala, mogućnost spajanja materijala različitih debljina, ujednačena razdioba naprezanja u usporedbi s drugim tehnikama spajanja, brtvljenje spojeva, mogućnost spajanja veliki površina, postojanost na zamor, dostupnost proizvoda različitih brzina umreživanja, laka automatizacija postupka, ekonomičnost [12].

7.LIJEPLJENJE

Lijepljenje je suvremeni način spajanja dijelova, a primjenjuje se za povezivanje različitih materijala [7]. Lijepljenje ima mnogobrojne prednosti pred mehaničkim postupcima spajanja dijelova.

Lijepljeni spojevi prenose opterećenje cijelom površinom spoja, što osigurava veću postojanost djelovanju savojnih opterećenja i vibracija obzirom na druge načine spajanja materijala. Ljepila su tvari koje na osnovi kemijskog sastava i fizičkog stanja u trenutku nanošenja na površine omogućuju njihovo spajanje [7].

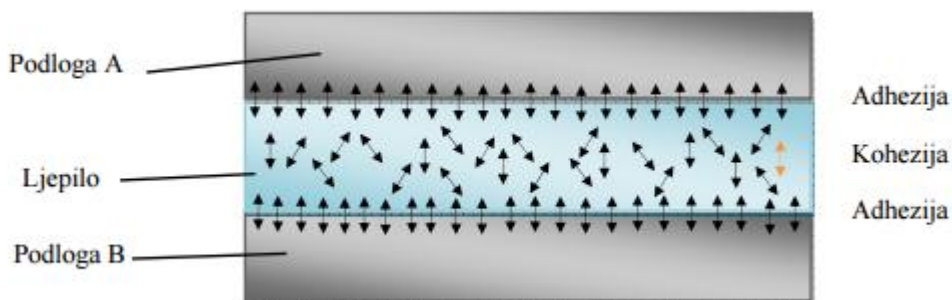
7.1.Svojstva ljepila

Da bi se moglo razumjeti način na koji se vrši spajanje uz pomoć ljepila, potrebno je opisati neka svojstva ljepila. Ljepila su proizvodi koji, na temelju svojeg kemijskog sastava i fizičkog stanja u trenutku nanošenja na dijelove koje treba spojiti, omogućuju spajanje površina [8].

Mehanizam lijepljenja djeluje na načelu dviju vrsta privlačnih sila koje se javljaju u lijepljenom spoju, a to su:

- adhezijske privlačne sile,
- kohezijske privlačne sile.

Adhezijske privlačne sile omogućuju dobro prijanjanje ljepila na površine koje se lijepe, a kohezijske privlačne sile omogućuju postizanje dovoljne čvrstoće ljepila u očvrstnutom stanju [8].



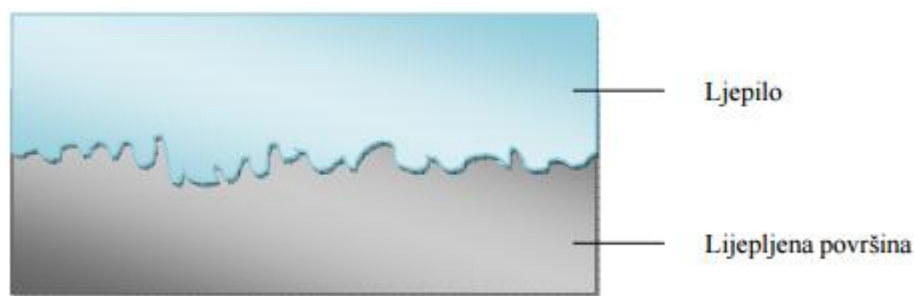
Slika 4. Adhezijske i kohezijske sile

*Izvor: Ivan Žolo „Lijepljenje polimernih materijala“ (diplomski rad, 2008.,
Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu)*

7.1.1. Adhezija

Adhezija je stanje u kojem se dvije površine drže zajedno međusobnim djelovanjem privlačnih sila zbog interakcije molekula, atoma i iona na obje površine. Može uključivati kemijsko ili fizikalno povezivanje dviju površina. Pri tome se kemijsko povezivanje sastoji od izravnog povezivanja molekula dvaju materijala kovalentnim ili ionskim vezama, a fizikalno povezivanje može rezultirati mehaničkim sidrenjem, fizikalnom apsorpcijom između molekula lijepila i površine koja se lijepi ili penetracijom molekula lijepila u površinu zbog mehanizma difuzije [8].

Mehaničko sidrenje se događa kada lijepljena površina sadrži pore po kojima se ljepilo rasprši i pri tome se „usidri“ za površinu. Ovaj mehanizam je specifičan za porozne materijale kao što su drvo, papir, tekstil [8].



Slika 5. Mehaničko sidrenje

*Izvor: Ivan Žolo „Lijepljenje polimernih materijala“ (diplomski rad, 2008.,
Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu)*

7.1.2. Površinska napetost

Hoće li se neki materijal lakše ili teže zalijepiti, ovisi o površinskoj napetosti, odnosno o slobodnoj površinskoj energiji [8].

Površinska napetost je nastojanje kapljevine ili čvrstog tijela da postigne što povoljnije energetske stanje smanjenjem slobodne površine. Molekule koje se nalaze u unutrašnjosti kapljevine ili čvrstog tijela svojim privlačnim silama privlače molekule sa površine, smanjujući tako broj onih molekula koje ostaju na površini, oko kojih se stvara dodatni prostor i na taj način molekule na površini postižu veću energiju.

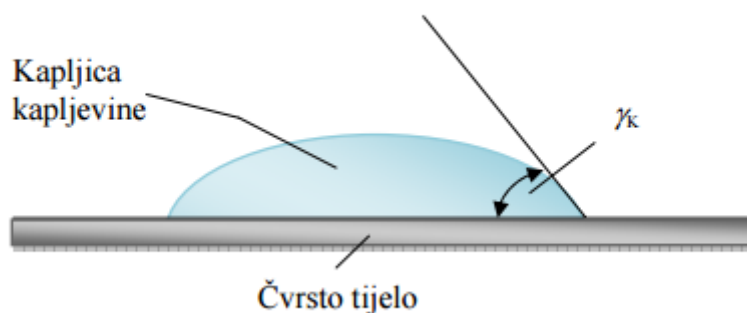
Upravo količina energije koju sadrže molekule na površini ima glavnu ulogu u tome, hoće li sposobnost nekog tijela za lijepljenje biti velika ili mala [8].

Slobodna energija lijepljenog materijala mora biti veća ili barem jednaka slobodnoj energiji ljepljivosti, da bi se ostvarilo uspješno lijepljenje. Većina polimernih ljepljivosti ima slobodnu energiju 25 – 30 mJ/m². Polimerni materijali imaju male vrijednosti slobodne površinske energije, što je uzrok tome da se neki polimeri vrlo teško ili pak nikako ne mogu zalijepiti [8].

7.1.3. Močenje površine

Sposobnost ljepila da ostvari potpuni dodir sa obje površine za lijepljenje, naziva se sposobnost močenja. Stupanj močenja mjeri se kutem močenja γ_K [8].

Slika 6 prikazuje kut močenja. Kada je kut močenja jednak nuli ($\gamma_K = 0$), kapljevina se slobodno raspršuje po površini i potpuno moči površinu. Kako bi se postiglo to, da ostvari potpuni dodir sa obje površine i k tome prodre u sve pore i neravnine površine, ljepilo se nanosi u kapljevitom stanju i pri tome se podvrgava potrebnom tlaku. Da bi se smanjila mogućnost zaostalih naprezanja, tijekom očvršćivanja ljepilo ne bi smjelo znatnije mijenjati svoj volumen. Jednako tako toplinske rastezljivosti materijala koji se lijepi i ljepila moraju biti približno jednake [8].

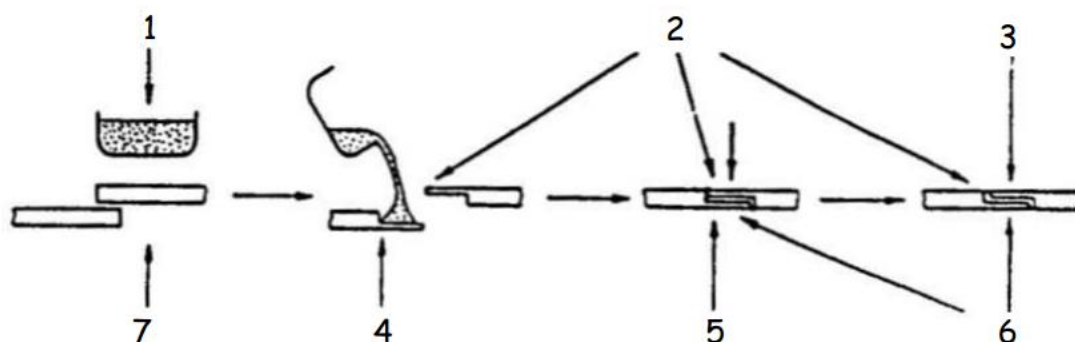


Slika 6. Kut močenja

*Izvor: Ivan Žolo „Lijepljenje polimernih materijala“ (diplomski rad, 2008.,
Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu)*

7.1.4.Kohezija

Kohezija je unutrašnja čvrstoća ljepila, odnosno djelovanje privlačnih sila istovrsnih atoma i molekula ljepila, koje određuju čvrstoću ljepila i samog lijepljenog spoja [8]. Pri lijepljenju je nužno ostvariti i međusobno pravilan položaj spajanih dijelova učvršćivanjem i djelovanjem laganog pritiska [9].



Slika 7. Prikaz povezivanje tvari pri lijepljenju

Izvor: PowerPoint prezentacija, „Prerada plastike i gume“, (Kemijsko – tehnološki fakultet u Splitu, izv. prof. dr. sc. Matko Erceg, Split, 2015.)

Povezivanje tvari pri lijepljenju: 1 - priprema ljepila, spojna mjesta eventualno prilagoditi ili obraditi, čišćenje; 2 - spajanje, eventualno zagrijavanje; 3 - naknadna obrada, rezanje; 4 - nanošenje ljepila; 5 - spajanje pritiskivanjem; 6 - hlađenje, odvođenje otapala, 7 - polazna osnova: poluproizvodi ili dijelovi od različitih materijala [9].

8. ZAVARIVANJE POLIMERNIH MATERIJALA

Polimeri imaju dobru zavarljivost, te se mogu zavariti svim važnijim postupcima.

Zavarivanje je postupak spajanja plastomernih i fizikalno umreženih elastoplastomernih tvorevina primjenom topline i tlaka s uporabom ili bez uporabe dodatnoga materijala. Dijelovi koji se zavaruju jesu poluproizvodi ili tijela definirana oblika, poput otpresaka [10].

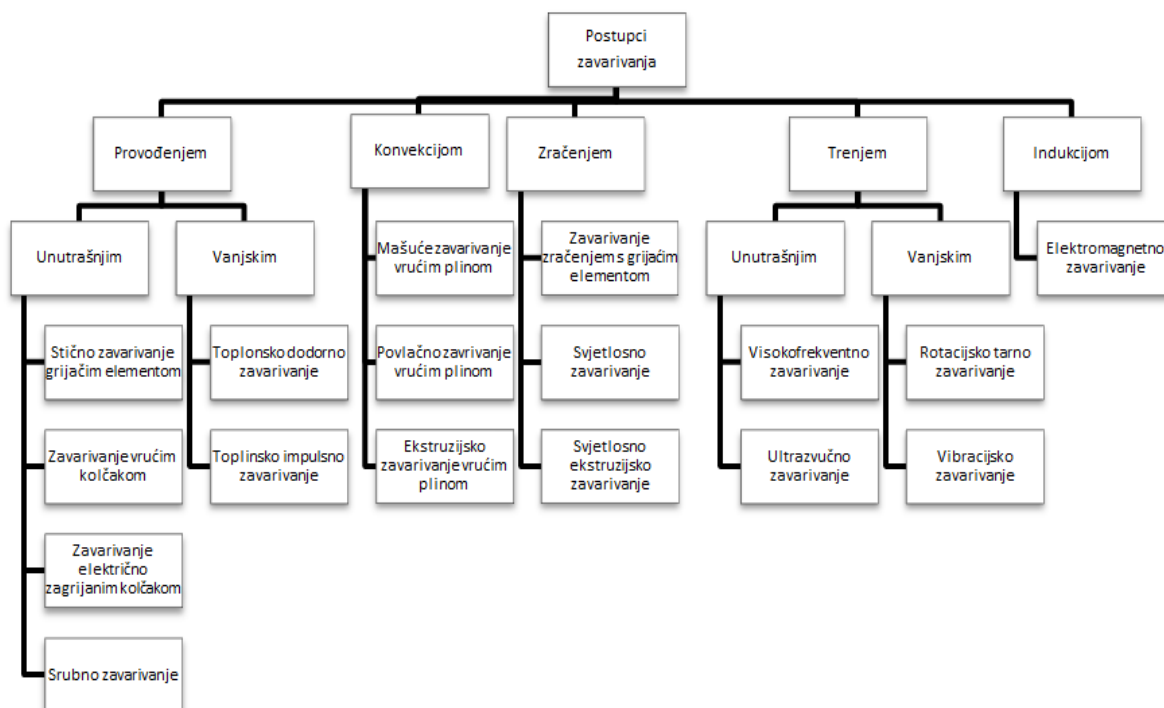
Kod svih postupaka zavarivanja plastomera pravilnu provedbu procesa uvjetuju tri čimbenika: precizno određena temperatura za određeni materijal, ispravan pritisak i brzina zavarivanja [10].

Glavni način zavarivanja plastičnih masa:

- Zavarivanje toplim zrakom ili plinom
- Zavarivanje zagrijanim elementom (kontaktno zavarivanje)
- Zavarivanje strujama visoke frekvencije,
- Zavarivanje trenjem,
- Zavarivanje ultrazvukom
- Elektrofuzijsko zavarivanje
- Polifuzijsko zavarivanje [4].

Osnovni parametri zavarivanja najčešće su temperatura, pritisak i vrijeme zavarivanja, a sam odabir postupka zavarivanja ovisi o zahtjevima zavarenog spoja, geometriji elementa koji se zavaruje, vrsti polimera, broju komada, cijeni.

Osnovni postupci zavarivanja polimernih materijala prema DIN 1910 dani su na slici 8.



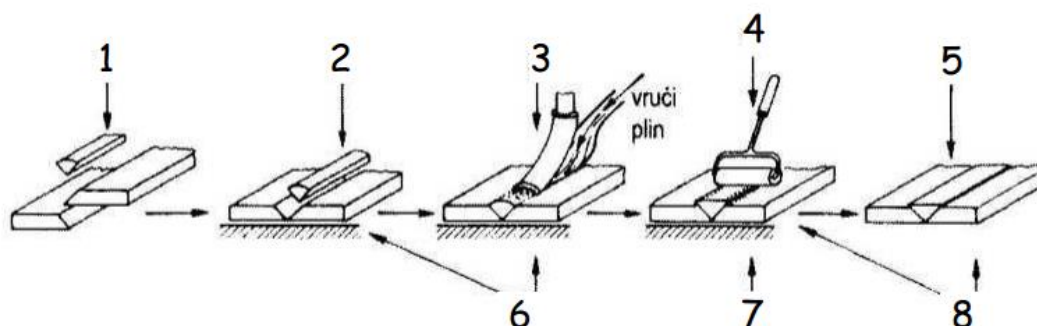
Slika 8. Podjela postupaka zavarivanja prema DIN 1910

Izvor: Zavarivanje polimernih materijala u struji vrućeg zraka, Marko Horvat, Katarina Pisačić, Pero Raos, Ivan Samardžić, Sveučilište Sjever, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Hrvatska

8.1. Zavarivanje u struji vrućeg zraka

Zagrijani zrak na određenu temperaturu dovodi se kroz mlaznicu zavarivačkog pištolja na mjesto gdje se želi zavariti dvije ploče. Dodatni materijal, najčešće u obliku šipke obično je istog sastava kao i osnovni materijal. Dovedenu toplinu usmjerava se dijelom na osnovni, a dijelom na dodatni materijal, te oni pri djelovanju topline prelaze u termoplastično stanje, gdje je moguća difuzija, te se pomoću pritiska ostvaruje spajanje [10].

Ovaj način zavarivanja nalazi vrlo široku primjenu prilikom zavarivanja ploča, cijevi, rezervoara i drugih raznih profilnih konstrukcija [11].



Slika 9. Prikaz plinskog zavarivanja

Izvor: PowerPoint prezentacija, „Prerada plastike i gume“, (Kemijско – tehnološki fakultet u Splitu, izv. prof. dr. sc. Matko Erceg, Split, 2015.)

Zavarivanje vrućim plinom: 1 - izrezati, spojna mjesta očistiti, pripremiti šipku za zavarivanje, 2 - spojni dio položiti na spojno mjesto i navariti vrućim plinskim uređajem, 3 - šipku spojiti pomoću rila, 4 - spajanje, 5 - naknadna obradba (po potrebi), 6 - djelomično zagrijavanje, 7 - međusobno pritiskivanje, 8 – hlađenje [9].

Princip zavarivanja ovom tehnikom sastoji se od dovođenja zagrijanog zraka (ili plina) preko mlaznice zavarivačkog pištolja (uređaja za zavarivanje) na mjesto ostvarivanja zavarenog spoja [12].

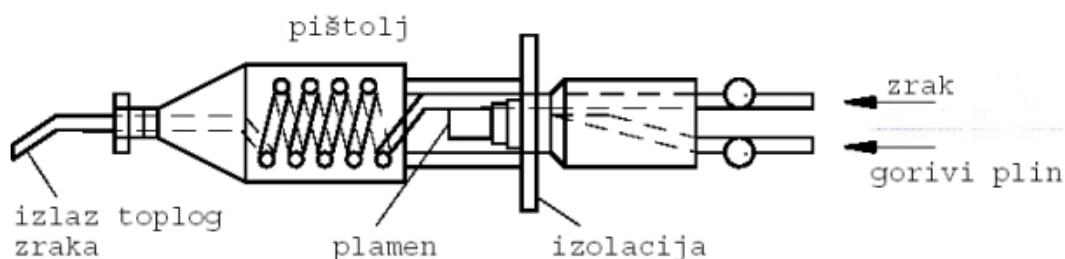
Zavarivački pištolji konstrukcijski su izvedeni sa električnim ili plinskim grijačem uz mogućnost regulacije temperature zraka (plina) te protokom istog. Obzirom na geometriju zavarenog spoja, najčešće se uz osnovni pištolj za zavarivanje (izvor zagrijanog zraka/plina) koriste i mlaznice za lakše ostvarivanje željenog zavarenog spoja [12].



Slika 10. *Primjeri različitih konstrukcija pištolja za zavarivanje tvrtke Leister*

Izvor: Zavarivanje polimernih materijala u struji vrućeg zraka, Marko Horvat, Katarina Pisačić, Pero Raos, Ivan Samardžić, Sveučilište Sjever, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Hrvatska

Geometrija mlaznice osigurava usku zonu zagrijavanja osnovnog i dodatnog materijala usmjeravanjem zraka/plina i njihanje ukoliko je potrebno, a ponekad i samo vođenje dodatnog materijala [12].



Slika 11. *Pištolj za zavarivanje toplim zrakom*

Izvor: <https://www.sfsb.hr/kth/zavar/zavar/plast.pdf>

Ostvarivanje zavarenog spoja izvodi se sa:

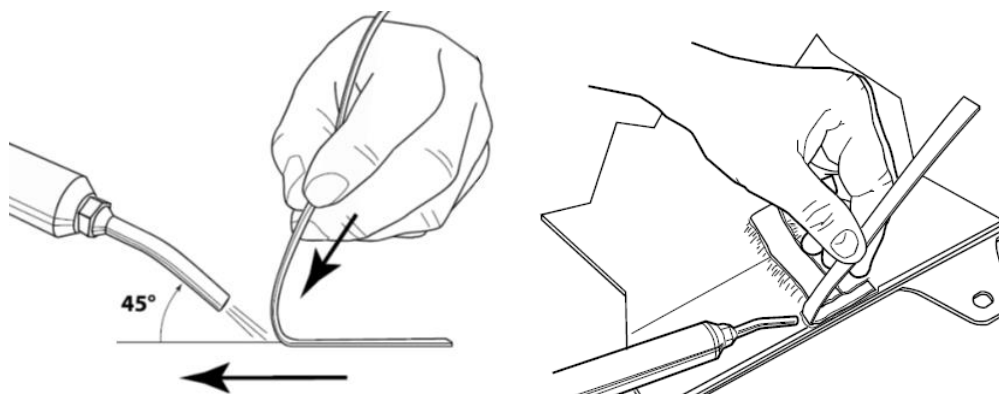
- dodatnim materijalom
- bez dodatnog materijala.

8.1.1. Zavarivanje vrućim zrakom s dodatnim materijalom

Ukoliko se zavarivanje izvodi dodatnim materijalom, tada se dio unesene topline prenosi i na dodatni materijal [12].

Dodatni materijali najčešće se pojavljuju u obliku šipke (različite geometrije poprečnih presjeka i dimenzija), rjeđe trake, a po kemijskom sastavu ili odgovaraju osnovnom materijalu ili se proizvode uz dodatak omekšavala koji smanjuju temperaturu mekšanja i olakšavaju izvođenje zavarenog spoja [12].

Dodatni materijal u ovom slučaju "šipka" ili traka (rjeđe) istog sastava kao i osnovni materijal, ali s nešto više omekšavala (5 – 12%) radi sniženja temperature omekšavanja tj. radi lakšeg zavarivanja. Dodatni materijal za ručno zavarivanje je "šipka" promjera 2, 3 i 4 mm, te dužine ne manje od 1000 mm [10].

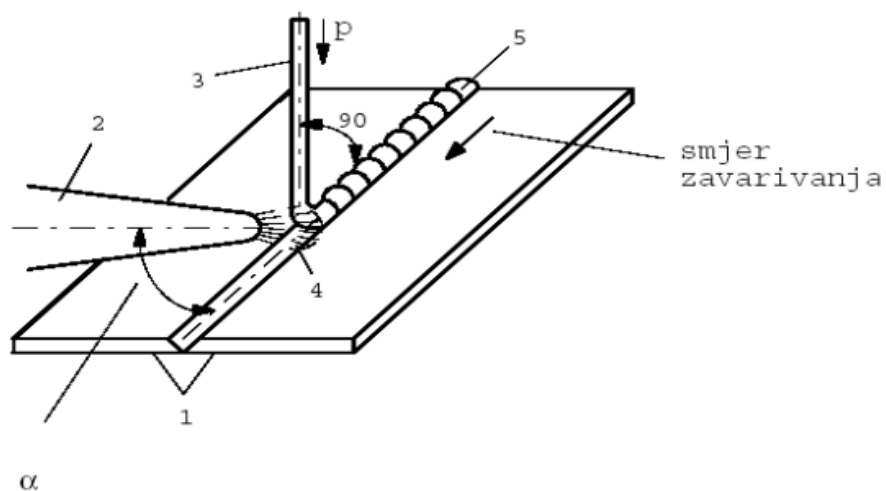


Slika 12. Princip izvođenja zavarivanja u struji vrućeg zraka (plina) sa dodatnim materijalom klasičnim mlaznicama

Izvor: Zavarivanje polimernih materijala u struji vrućeg zraka, Marko Horvat, Katarina Pisačić, Pero Raos, Ivan Samardžić, Sveučilište Sjever, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Hrvatska

Postupak zavarivanja

Zagrijani zrak (4) dolazi iz mlaznice grijala (2) i usmjerava se dijelom na dodatni materijal (3), a dijelom na osnovni materijal (1). Nakon dovođenja "žice" i osnovnog materijala do termoplastičnog stanja, pritiskom "p" se ostvaruje zavareni spoj (5). Pritisak "p" na dodatni materijal je određen promjerom dodatnog materijala [4].



Slika 13. Postupak zavarivanja

Izvor: <https://www.sfsb.hr/kth/zavar/zavar/plast.pdf>

8.1.2. Zavarivanje vrućim zrakom bez dodatnog materijala

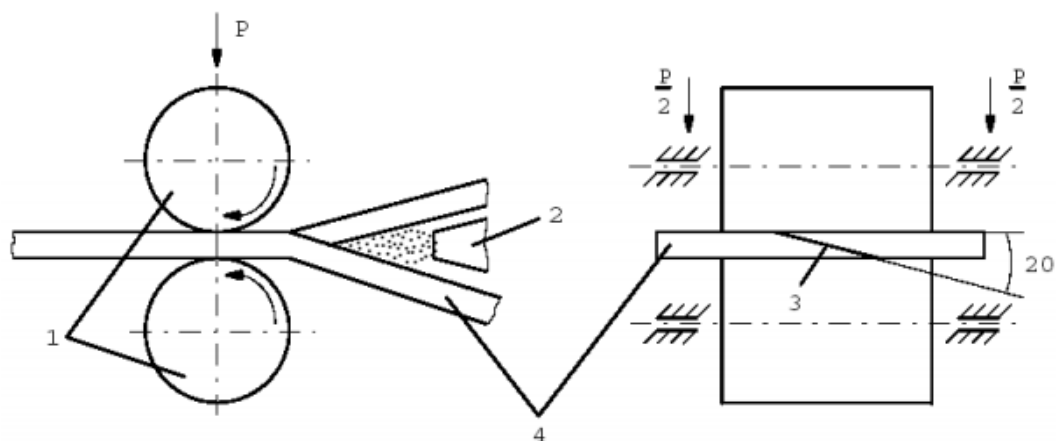
Zavarivanje vrućim zrakom (plinom) bez dodatnog materijala ostvaruje se posebnim mlaznicama koja u pripremljenom zavarenom spoju osigurava i olakšava difuziju polimernog materijala, ili pak ručnim ili mehaniziranim valjcima koji ostvaruju potreban pritisak na polimernim elementima u termoplastičnom stanju [12].



Slika 14. *Primjer izvođenja zavarivanja bez dodatnog materijala prilagođenim mlaznicama*

Izvor: Zavarivanje polimernih materijala u struji vrućeg zraka, Marko Horvat, Katarina Pisačić, Pero Raos, Ivan Samardžić, Sveučilište Sjever, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Hrvatska

Princip je zasnovan na uprešavanju materijala u termoplastičnom području. Prije zavarivanja ploče (4) se režu pod kutom od 20° , te ih se sastavlja po ivicama (3), a nakon toga se ravnomjerno zagrijevaju. Neposredno iza struje zraka (2) slijede valjci (1) koji pritiskom ostvaruju zavareni spoj [4].



Slika 15. Zavarivanje toplim zrakom bez dodatnog materijala

Izvor: <https://www.sfsb.hr/kth/zavar/zavar/plast.pdf>

Osim što se zavarivanje polimernih materijala izvodi ručnim tehnikama, moguća je i automatizacija procesa. U tom slučaju najčešće se radi o automatiziranom ili ekstruzijskom automatiziranom zavarivanju u struji vrućeg zraka (plina).

Automatizirani spojevi uglavnom se izvođe u jednom prolazu, a česti primjeru su na zavarivanju polimernih materijala na krovnim konstrukcijama, zavarivanje folija, podnih obloga [12].



Slika 16. Primjeri automatizacije procesa zavarivanja tvrtke Leister

Izvor: Zavarivanje polimernih materijala u struji vrućeg zraka, Marko Horvat, Katarina Pisačić, Pero Raos, Ivan Samardžić, Sveučilište Sjever, Strojarski fakultet u Slavenskom Brodu, Hrvatska

8.2.Zavarivanje zagrijanim elementom (kontaktno zavarivanje)

Materijal grijača je obično nehrđajući čelik koji je brižljivo poliran. Čim je brižljivije poliran tim je bolja kvaliteta zavora. Grijaći elementi mogu biti iz različitih konstrukcija, što ovisi od oblika izratka i vrste termoplasta. Tako grijaći elementi mogu biti: plosnate i krivolinijske ploče, valjci, tanke trake, klinovi prizme, cilindri, a također specijalni oblici kliješta, električni aparati za lemljenje (250 – 450 W) itd [4].

8.2.1. Princip zavarivanja

Dvije plastične mase koje želimo zavariti ovim načinom, zagrijemo do temperature zavarivanja, na taj način, da između zavarenih površina stavimo planparalelnu el. strujom zagrijanu ploču konstantne temperature, koja grije krajeve plastičnih masa direktno [4].

Nakon izvjesnog vremena kad je postignuto tjestasto stanje, grijaći element se brzo odstrani, a zavarivane površine se pod određenim pritiskom spoje [4].

Kontaktno zagrijavanje zavarivanih površina možemo ostvariti na 2 načina:

1. Grijač s vanjske strane dodiruje izradak i predaje toplinu zavarivanim površinama kroz debljinu materijala.
2. Grijač je neposredno u kontaktu s zavarivanim površinama [4].

Kontaktno zagrijavanje može biti:

- a) Jednostrano (za folije i tanke ploče)
- b) Dvostrano (deblji limovi) [4]

Princip zavarivanja zasniva se na zagrijavanju dviju površina koje se zavaruju dodatnim grijaćim elementom koji površinama predaje toplinu te ih dovodi u stanje pogodno za zavarivanje (termoplastično) stanje.

Zagrijavanje površina vrši se direktno, a također je poželjno da na elemente tijekom zagrijavanja djeluje mali konstantan pritisak.

Slijedi faza odmicanja zagrijanih površina, uklanjanje grijaćih elemenata, a elementi sa zagrijanim i rastaljenim površinama se pod pritiskom prislanjaju jedan na drugi i stvaraju zavareni spoj.

U nekim varijantama procesa grijanje površina koje se zavaruju može se izvesti i indirektno, preko vanjskih površina elementa, a kod direktnog zagrijavanja jednostrano ili dvostrano. Konstrukcija grijaćih elemenata, materijal i kvaliteta obrađene površine ovisi geometriji izradaka koji se zavaruju (ploče, kolčak, klin, prizma, kliješta itd.) [12].



Slika 17. *Primjer zavarivanja PE HD cijevi grijaćom pločom*

Izvor: Zavarivanje polimernih materijala u struji vrućeg zraka, Marko Horvat, Katarina Pisačić, Pero Raos, Ivan Samardžić, Sveučilište Sjever, Strojarski fakultet u Slavanskom Brodu, Hrvatska

Ovaj postupak zavarivanja plinskih i ostalih polimernih cijevi je vrlo učinkovit i najčešće se koristi. Pogodan je za zavarivanje cijevi čiji se promijeri kreću iznad osamdeset milimetara [4].

Sami tijekom zavarivanja, znači vrijeme od postavljanja grijača do hlađenja je kraće od pola sata. Mora se voditi računa o kvalitetnoj obradi površine čela cijevi koje će biti zavarene [4].

8.2.2.Zavarivanje postupkom grijaće ploče

Grijaća ploča nam služi za zagrijavanje dvaju čela cijevi do granice tečenja. Zagrijava se određeno vrijeme prema tablicama proizvođača cijevi [4].

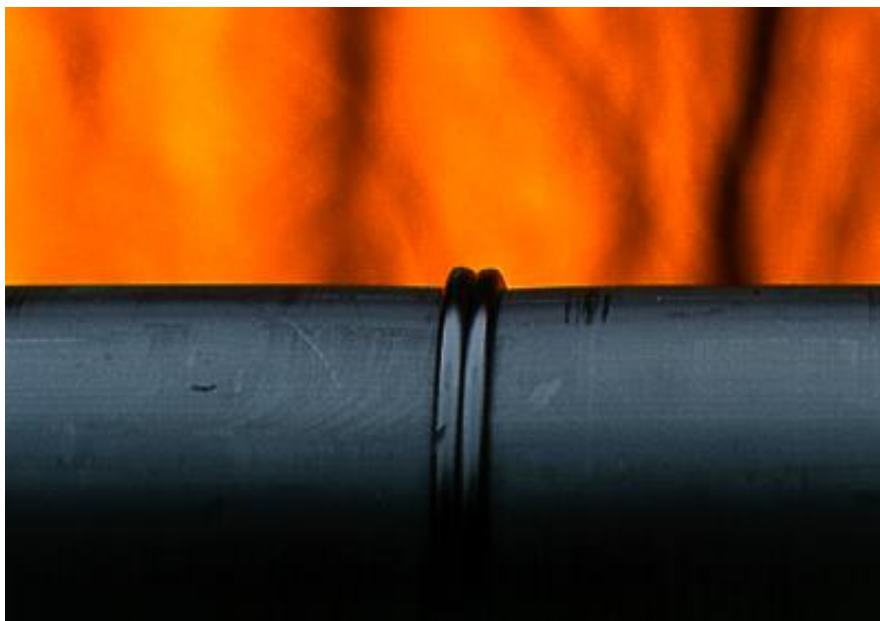


Slika 18. *Grijaća ploča - uređaj za zagrijavanje čela cijevi*

Izvor: Franjo Dako, Zavarivanje plastičnih masa, (završni rad)

Uklanja se užarena ploča i s pomoću hidrauličkih pumpi i cilindara se dva kraja cijevi stisnu tako da ostaju određeno vrijeme pod određenim pritiskom.

Sve te podatke (parametre procesa) daju proizvođači cijevi. To znači da se rastaljeni i omekšani materijal stopi u jednu homogenu masu i oblikuje zavareni šav te se kao takav ostavi ohladiti. Tijekom procesa formiranja i hlađenja zavora, spoj mora biti pod pritiskom. Nakon 20-tak minuta zavareno mjesto postaje kompaktna cjelina. Spoj se rasterećuje, a zavarene cijevi se mogu polagati u rov i zatrpavati [4].



Slika 19. *Izgled zavarenog spoja*

Izvor: Franjo Dako, Zavarivanje plastičnih masa, (završni rad)

Dakako postoje različite dimenzije cjevovoda kao i alata za iste, tako se npr. za unutarnje stambene razvode koriste cijevi izrađene od polipropilena poznatijeg pod nazivom PPR, dok se za vanjske vodove većih promjera i dimenzija koriste polietilenske cijevi visoke gustoće poznatije pod nazivom PE-HD [4].

Alati koji se koriste prilikom fuzijskog zavarivanja rade na podjednakim načelima, tj. moramo dovesti određenu količinu električne energije koja će zagrijati grijaću ploču i otopiti čela cijevi do određene točke. Jedina razlika u svemu je to da kod manjih uređaja nemamo magnetsku karticu, upravljački dio, glodalo, nosač cijevi tj. steznu napravu [4].



Slika 20. Uređaj za zavarivanje manjih profila cijevi

Izvor: Franjo Dako, Zavarivanje plastičnih masa, (završni rad)

Kod unutarnjih stambenih instalacija koristimo uređaje manjih dimenzija i jednostavnijeg načina upotrebe. Stroj je vrlo jednostavan za primjenu, odlikuje se velikom učinkovitošću, brzinom i kvalitetom zavara [4].

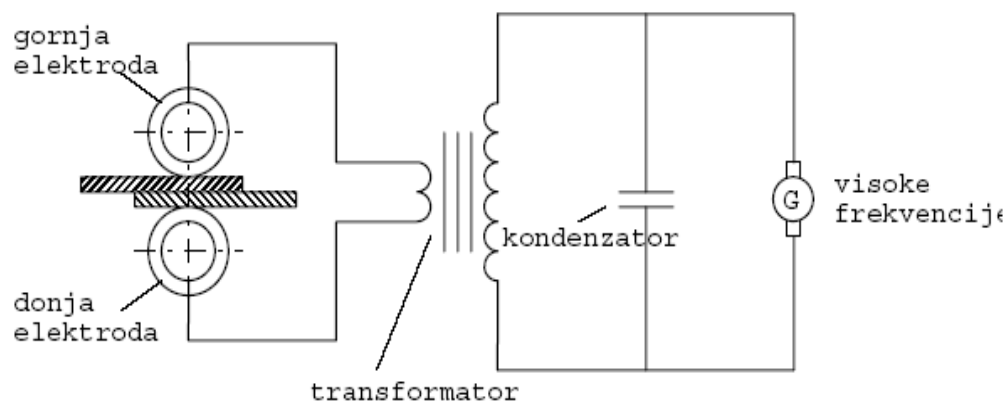
8.3. Zavarivanje strujama visoke frekvencije

Strujama visoke frekvencije dosta lako zavarujemo one plastične mase koje slabo provode el. struju i toplinu, te čiji faktor dielektričnih gubitaka nije manji od 0,01 [4].

8.3.1.Princip zavarivanja

Ako stavimo termoplast između elektroda koje su u spoju sa izmjeničnim potencijalom, primjenit ćemo da se masa zagrijava. Ustvari, to je uzajamna veza između kondenzatora i plastične mase kao dielektrika. Zavarivanje plastičnih masa strujama visoke frekvencije je zasnovano na zagrijavanju materijala, kao rezultat pretvorbe el. energije u toplinsku, neposredno unutar samog materijala [4].

Dakle, struju visoke frekvencije dovodimo elektrodama i izazivajući polarizaciju molekula u masi stisnutoj među njima ostvarujemo zavarivanje.



Slika 21. Princip zavarivanja strujama visoke frekvencije

Izvor: <https://www.sfsb.hr/kth/zavar/zavar/plast.pdf>

Zavarivanje strujama visoke frekvencije ili dielektričko zavarivanje provodi se između metalnih elektroda koje se nalaze pod izmjeničnim naponom visoke frekvencije. Zavarivanje se zasniva na zagrijavanju materijala (električna energija se pretvara u toplinsku) uslijed polarizacije molekula (unutarnja kretanja izazivaju trenje), dok elektrode ostaju hladne [12].

Zavarivanje se najčešće izvodi kao pločasto, šavno ili točkasto. Ovaj način zavarivanja često se koristi kod zavarivanja polimernih folija, toplina se unosi u usko područje materijala koji se zavaruje, brzina zavarivanja je velika, a proces se lako automatizira [12].

8.4. Zavarivanje trenjem

Princip zavarivanja se zasniva na tome što se pri međusobnom kontaktu dva tijela, koji se okreću u suprotnim smjerovima pojavljuje sila trenja, a kao rezultat toga je oslobađanje topline, uslijed čega zavarivane površine dolaze u tijestasto stanje, te se uz pomoć pritiska ti dijelovi čvrsto spoje [10].

Kod ovog postupka zavarivanja toplina potrebna za ostvarivanje zavarenog spoja posljedica je sile trenja koja se javlja zbog međusobnog kontakta elementa koji se spajaju i kreću (rotiraju) u suprotnim smjerovima.

Postupak se naziva još i rotacijsko tarno zavarivanje, pri čemu rotirati mogu oba elementa, samo jedan ili međuelement. Ovaj postupak daje kvalitetne zavarene spojeve, spoj se ostvaruje brzo, a glavno ograničenje je geometrija izratka kao i optimizacija parametara zavarivanja [12].



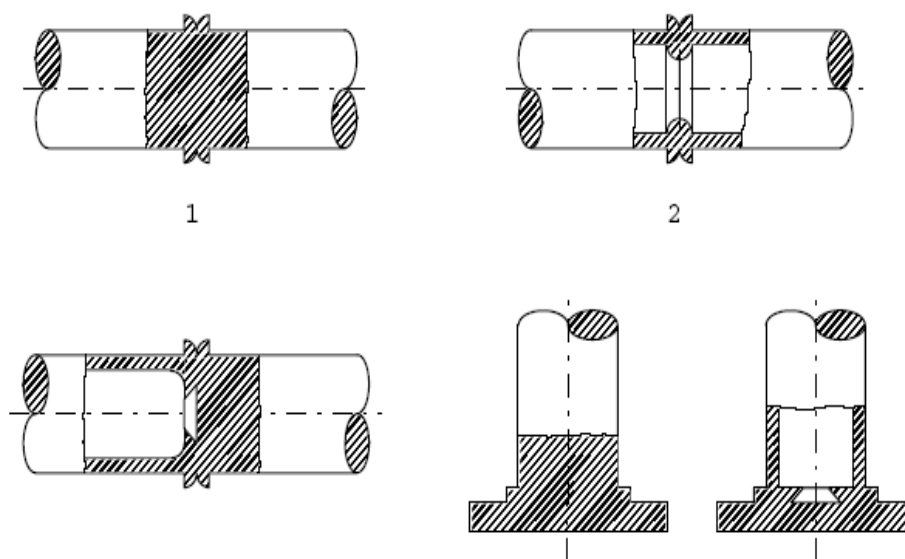
Slika 22. *Primjer uređaja za zavarivanje polimernih cijevi trenjem*

Izvor: Zavarivanje polimernih materijala u struji vrućeg zraka, Marko Horvat, Katarina Pisačić, Pero Raos, Ivan Samardžić, Sveučilište Sjever, Strojarski fakultet u Slavenskom Brodu, Hrvatska

Postoje tri načina zavarivanja rotacijom:

- okretanjem jednog dijela,
- okretanjem oba dijela,
- okretanjem međukomada [4]

Jedan od glavnih nedostataka zavarivanja trenjem je ograničenje oblika zavrenih dijelova, te se trenjem općenito mogu zavariti slijedeći oblici:



Slika 23. Načini zavarivanja rotacijom

Izvor: <https://www.sfsb.hr/kth/zavar/zavar/plast.pdf>

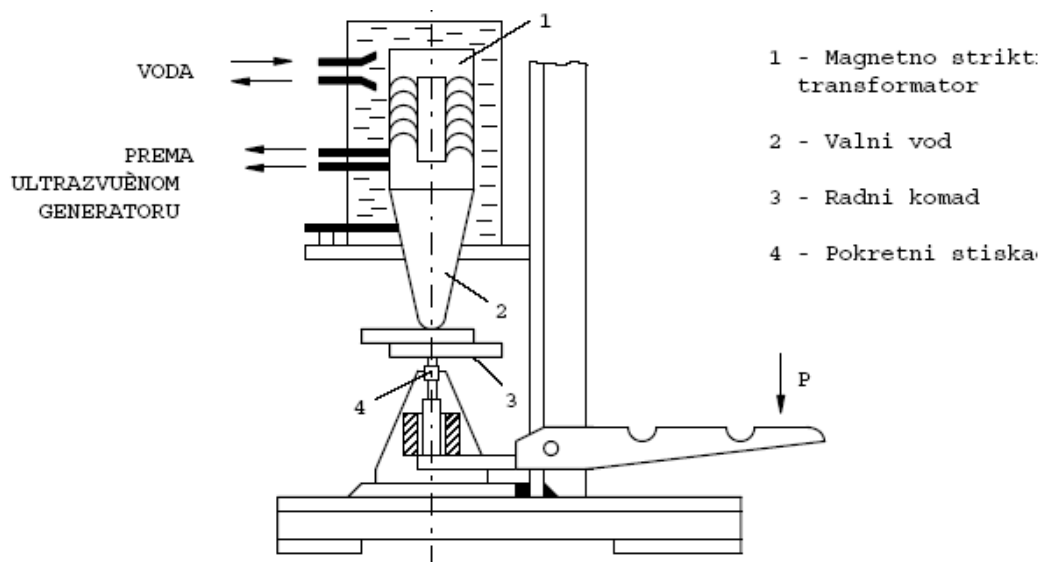
Radi izbjegavanja pregrijavanja zone zavarivanja i održavanja potrebnog pritiska nužno je da vremenskim trajanjem osiguramo puno taljenje dodirnih površina što je kraći zavarivački ciklus smanjuje se taljenje i pojavljuju se unutarnja naprezanja.

Obično od pojave trenja pa do zaustavljanja stroja prođe (3 - 25) sekundi. Zavar potpuno otvrdne nakon (5-8) minuta poslije zaustavljanja stroja. Pritisak osigurava neophodno zagrijavanje u zoni spajanja i čvrsti kontakt zavarivanih površina.

Glavna prednost ovog postupka je velika brzina obrazovanja spoja. Brzinu rotacije određujemo na osnovu tipa termoplasta i konfiguracije izratka [4].

8.5. Zavarivanje ultrazvukom

Zvuk predstavlja mehaničko elastično titranje sredine u kojoj se on rasprostire, dok ultrazvučnim valom nazivamo elastično titranje materijalne sredine s frekvencijom 20 kHz do 500 MHz [4].



Slika 24. Zavarivanje ultrazvukom

Izvor: <https://www.sfsb.hr/kth/zavar/zavar/plast.pdf>

Za razliku od elektromagnetskih, ultrazvučni valovi mogu prolaziti samo kroz materijalnu sredinu [4].

Princip zavarivanja plastičnih masa zasniva se na pretvorbi mehaničkih visokofrekventnih titraja u toplinsku energiju. Za razliku od zavarivanja ultrazvukom metala, kod plastičnih masa premještanje i pritisak djeluju u jednom pravcu. Stvoreni titraji visoke frekvencije djeluju na zavarene površine tako da se na njima pojavljuju normalna naprezanja, izazivajući plastične deformacije materijala, uslijed čega se na mjestu kontakta razvija povišenje temperature u vidu topline. Pri tome toplina na mjestu kontakta stvara površinsko omekšanje plastične mase i uz pomoć pritiska se vrši nerastavljivo spajanje [4].

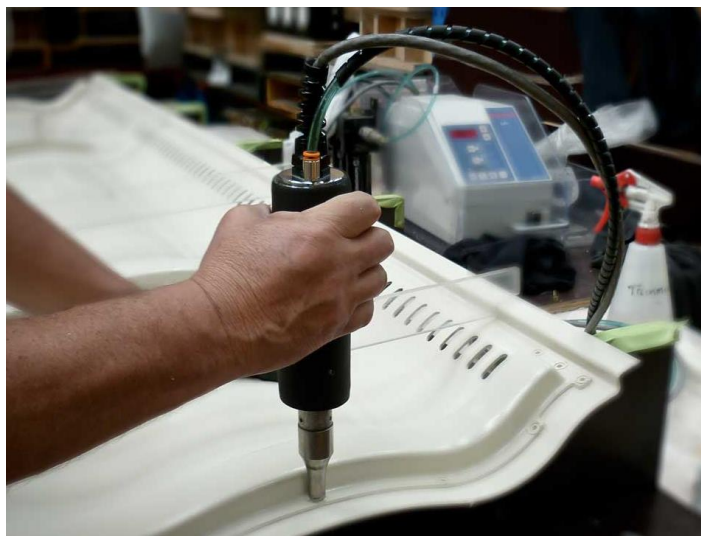


Slika 25. Uređaj za ultrazvučno zavarivanje

Izvor: http://www.dpm.ftn.uns.ac.rs/dokumenti/Laboratorija_za_deformisanje/TOP/ZAVARIVANJE%20PLASTIKE.pdf

Ultrazvukom zavarujemo sučeone, preklopne i T – spojeve. Čišćenje površina prije zavarivanja nije potrebno, jer za vrijeme zavarivanja različita ulja, prašina i emulzija se uklanjaju iz zone zavara pojam titraja poprečnih valova [4].

Odličnom osobinom ultrazvučnog zavarivanja javlja se visoka brzina rasta temperature u zoni zavara. Npr. zavarujući PVC ploče (5+5) mm, frekvencijom 2000 Hz i amplitudom 24 μm , već za (4 – 5) sekundi se u zoni zavarivanja postiže 500 $^{\circ}\text{C}$. Tako intenzivno zagrijavanje osigurava veliku brzinu zavarivanja, ali istovremeno povećava opasnost izazivanja destrukcije materijala, osobito pri dužem djelovanju ultrazvučnog polja. Debljina materijala koji se zavaruje može biti veća nego kod zavarivanja strujama visoke frekvencije i kreće se od 0,1 do 10 mm [4].



Slika 26. *Primjer izvođenja ultrazvučnog zavarivanja polimernih materijala*

Izvor: Zavarivanje polimernih materijala u struji vrućeg zraka, Marko Horvat, Katarina Pisačić, Pero Raos, Ivan Samardžić, Sveučilište Sjever, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Hrvatska

8.6. Elektrofuzijsko zavarivanje

Elektrofuzijsko zavarivanje je postupak zavarivanja kod kojega se dva kraja PE spajaju pomoću standardnog spojnog elementa, uz djelovanje toplinske energije koju daje izvor struje za zavarivanje. Izvor struje priključuje se na električnu struju gradske mreže ili na agregat (u slučaju kada nije dostupna električna struja iz gradske mreže).

U spojnom elementu nalaze se zavoji elektrootporne žice kroz koju protječe električna struja u određenom vremenu i koja se tijekom procesa zavarivanja zagrijava i daje toplinsku energiju potrebnu za elektrofuzijsko zavarivanje [13].

Proces zavarivanja je potpuno automatiziran i vođen upravljačkom jedinicom u sklopu izvora struje za zavarivanje. Parametri zavarivanja su unaprijed programirani i odabiru se ovisno o karakteristikama spojnog elementa [13]

U slučaju bilo kakvih odstupanja u pogledu provedbe parametara zavarivanja tijekom zavarivanja (npr. oscilacija ulaznih vrijednosti struje), proces zavarivanja se prekida i uređaj prijavljuje odgovarajuću pogrešku [13].



Slika 27. *Postupak elektrofuzijskog zavarivanja*

Izvor: <http://www.ptmg.hr/media/radovi/zavarivanje-elektrofuzijsko.pdf>

Ovim postupkom se dva kraja cijevi spajaju pomoću dodatnog elementa ali u sastavljenom stanju. Energija potreba za zavarivanje dovodi se izvana. Naime spojni elementi sadrže elektrootpornu žicu i protokom struje kroz elektrootpornu žicu dolazi do njenog zagrijavanja, a time do taljenja materijala s unutrašnje površine spojnog elementa i sa vanjske površine cijevi [4].

Stvara se tlak na spojnim površinama te doloazi do fuzije (zavarivanja) rastaljenog materijala spojnog elelementa i cijevi [4].



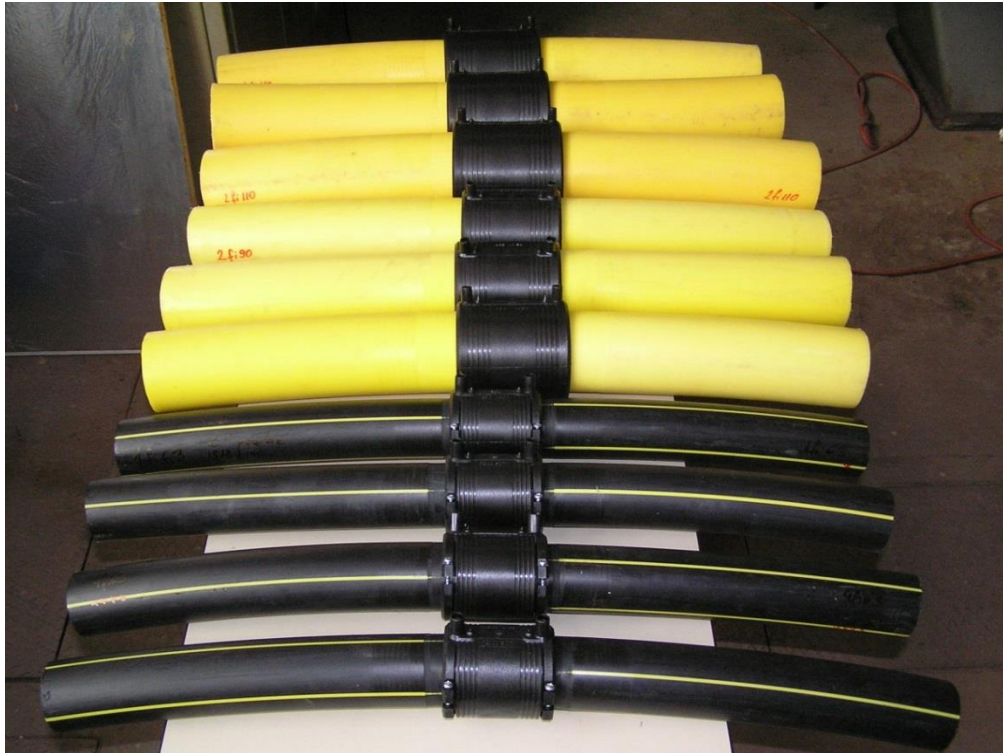
Slika 28. *Prikaz čela cijevi i elektrovarne spojnice*

Izvor: https://bib.irb.hr/datoteka/261701.2_2_Samardzic.pdf



Slika 29. *Prikaz elektrofuzijskog zavarivanja*

Izvor: https://bib.irb.hr/datoteka/261701.2_2_Samardzic.pdf



Slika 30. PE-HD cijevi zavarene elektrofuzijskim postupkom zavarivanja

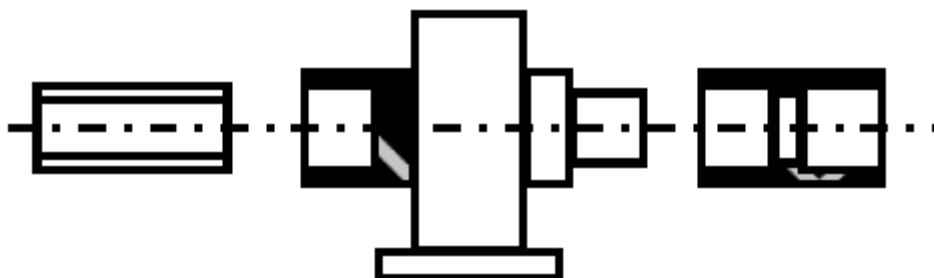
Izvor: Izvor: Zavarivanje polimernih materijala u struji vrućeg zraka, Marko Horvat, Katarina Pisačić, Pero Raos, Ivan Samardžić, Sveučilište Sjever, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Hrvatska

Postupak elektrofuzijskog zavarivanja PE cijevi uz primjenu spojnih elemenata je tehnološki (ekonomičan, pouzdan) postupak spajanja koji se odvija automatski uz primjenu suvremene opreme za zavarivanja.

8.7. Polifuzijsko zavarivanje

Ovim postupkom mogu se spajati PEHD, PP i PVDF materijali cijevnih sustava i to na način da se dva kraja cijevi spajaju pomoću dodatnog elementa. Alat sa trnom i puškicom se zagrijava dok ne dostigne željenu temperaturu (250-270 °C) [4].

Nakon postizanja odgovarajuće temperature na trn se navlači spojni element, a u puškicu se uvlači kraj cijevi. Po isteku vremena zagrijavanja cijev i spojni element se međusobno spajaju ugrivanjem cijevi u spojni elemen [4].



Slika 31. Postupak polifuzijskog zavarivanja

Izvor: <http://www.ptmg.hr/media/radovi/zavarivanje-polifuzijsko.pdf>

Ovim postupkom ručno se spajaju cijevi do promjera 40 mm. Za spajanje većih promjera cijevi moramo, zbog većeg tlaka koji se javlja u toku zavarivanja, upotrijebiti hidraulične stezne naprave.

Tolerancije cijevi za polifuzijsko spajanja:

- do promjera 40 mm + 0,04 mm
- od promjera 50 mm + 0,06 mm [4]

9. ZAKLJUČAK

Postoje mnogo različitih metoda spajanja polimera a postupak odabira ovisi o varijablama poput vrste polimera, zahtjeva montaže i područja primjene.

Razvoj polimernih materijala te primjena istih u tehničke svrhe osiguravao je i paralelni razvoj tehnika spajanja kako bi njihova primjena bila što veća, a konstrukcije izvedene od tih materijala zadovoljavale tražene uvjete (prvenstveno mehanička svojstva).

Posljednjih je desetljeća u cijelom svijetu zabilježen trend rasta potrošnje plina. Da bi se ovaj ekonomičan i ekološki prihvatljiv energent približio što većem broju ljudi, nužni su kvalitetni, dugotrajni i potpuno sigurni plinovodi. U području distribucije plina projektanti i distributivna poduzeća širom svijeta sve više se odlučuju za ugradnju polietilenskih cijevi u nisko i srednjetačne distributivne mreže za radne tlakove do 10 bara.

Opskrba pitkom vodom jedan je od najvećih problema današnjice. Da bi se maksimalno iskoristile postojeće rezerve vode i zadržala kvaliteta vode od izvora do korisnika, neophodni su potpuno nepropusni, zdravstveno ispravni i dugotrajni vodoopskrbni sustavi uz prihvatljivu cijenu.

Svakodnevno veliki broj stručnjaka radi na razvoju novih materijala koji imaju sve bolja mehanička i preradbena svojstva, dulji vijek trajanja te manji utjecaj na okoliš.

10. LITERATURA

- [1] P.Raos, M.Šercer: *Teorijske osnove proizvodnje polimernih materijala*, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, 2010.
- [2] M. Šercer, B. Križan, R. Basan: *Konstruiranje polimernih proizvoda*, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2009.
- [3] Marko Ivanišević, „*Trendovi razvoja industrije polimera u Republici Hrvatskoj*“ (diplomski rad, 2011., Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu)
- [4] Franjo Dako, *Zavarivanje plastičnih masa*, (završni rad)
- [5] Alpro Att - Tvrtka specijalizirana za proizvodnju cijevi i spojeva,
http://www.alpro-att.hr/tolteam/UserFiles/File/pehd_cijevi.pdf (20.5.2016.)
- [6] PowerPoint prezentacija „*Zavarivanje PE cjevovoda u praksi*“ Josip Husain, dipl. ing. stroj.
- [7] Strukovni članak, Ana Pilipović, Zoran Domitran, Josip Stojšić, „*Lijepljenje kompozitnih polimernih tvorevina*“
- [8] Ivan Žolo „*Lijepljenje polimernih materijala*“ (diplomski rad, 2008., Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu)
- [9] PowerPoint prezentacija, „*Prerada plastike i gume*“, (Kemijско – tehnološki fakultet u Splitu, izv. prof. dr. sc. Matko Erceg, Split, 2015.)
- [10] Ante Matić, „*Lasersko zavarivanje plastike*“ (završni rad, 2010., Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu)
- [11] Zavarivanje plastičnih masa, <https://www.sfsb.hr/kth/zavar/zavar/plast.pdf> (20.5.2016.)
- [12] Zavarivanje polimernih materijala u struji vrućeg zraka, Marko Horvat, Katarina Pisačić, Pero Raos, Ivan Samardžić, Sveučilište Sjever, Sveučilišni centar Varaždin, Varaždin, Hrvatska, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Slavonski Brod, Hrvatska
- [13] Monitoring parametara elektrofuzijskog zavarivanja PE-HD cijevi, prof. dr. sc. Ivan Samardžić, prof. dr. sc. Pero Raos, mr. sc. Štefaniya Klarić, Marko Blažević, dipl. ing. (20.5.2016.)

11.PRILOZI

11.1.Popis slika

Slika 1. Fizička stanja amornog polimera predočena u dijagramu T-t

Slika 2. Termomehanička krivulja linearnog amornog polimera

Slika 3. Prikaz PE-HD cijevi

Slika 4. Adhezijske i kohezijske sile

Slika 5. Mehaničko sidrenje

Slika 6. Kut močenja

Slika 7. Prikaz povezivanje tvari pri lijepljenju

Slika 8. Podjela postupaka zavarivanja prema DIN 1910

Slika 9. Prikaz plinskog zavarivanja

Slika 10. Primjeri različitih konstrukcija pištolja za zavarivanje tvrtke Leister

Slika 11. Pištolj za zavarivanje toplim zrakom – izvedba 1

Slika 12. Princip izvođenja zavarivanja u struji vrućeg zraka (plina) sa dodatnim materijalom klasičnim mlaznicama

Slika 13. Postupak zavarivanja

Slika 14. Primjer izvođenja zavarivanja bez dodatnog materijala prilagođenim mlaznicama

Slika 15. Zavarivanje toplim zrakom bez dodatnog materijala

Slika 16. Primjeri automatizacije procesa zavarivanja tvrtke Leister

Slika 17. Primjer zavarivanja PE HD cijevi grijačom pločom

Slika 18. Grijaća ploča - uređaj za zagrijavanje čela cijevi

Slika 19. Izgled zavarenog spoja

Slika 20. Uređaj za zavarivanje manjih profila cijevi

Slika 21. Princip zavarivanja strujama visoke frekvencije

Slika 22. Primjer uređaja za zavarivanje polimernih cijevi trenjem

Slika 23. Načini zavarivanja rotacijom

Slika 24. Zavarivanje ultrazvukom

Slika 25. Uređaj za ultrazvučno zavarivanje

Slika 26. Primjer izvođenja ultrazvučnog zavarivanja polimernih materijala

Slika 27. Postupak elektrofuzijskog zavarivanja

Slika 28. Prikaz čela cijevi i elektrovarne spojnice

Slika 29. Prikaz elektrofuzijskog zavarivanja

Slika 30. PE-HD cijevi zavarene elektrofuzijskim postupkom zavarivanja

Slika 31. Postupak polifuzijskog zavarivanja